

低平地での降雨排水システムに関する数値実験

長岡技術科学大学大学院工学研究科 建設工学専攻 2年 小島 輝久

1. 背景

輪中などの低平地では、河川よりも土地の標高の方が低い。また、地域によっては海水面よりも土地が低いこともある。これらの土地に溜まった水はほとんど自然には排水されない。したがって、これらの土地では人工的に排水を行う必要がある。排水には大きく分けて地表面を流れる表面流出と排水路網による排水がある。

2. 目的

本研究では、地下排水管の流れと、地上における2次元的な氾濫計算と組み合わせることにより、洪水時における水の挙動を把握し、排水設備の設置の提案および効率的な操作運転法の提言を行い、降雨排水システムの開発につなげることを目的としている。

3. 対象地域

図1は、新潟市東部周辺地域を示した図である。図2は、亀田郷の海拔0m地帯を示した図である。

対象地域は、新潟市東部および亀田町などの地域を含む亀田郷である。図1に示すように、亀田郷は信濃川、阿賀野川および小阿賀野川に囲まれている。また、図2に示すように、亀田郷は、その多くの地域が海拔0m地帯であり、洪水時に浸水被害の危険性が高いことがわかる。

4. 理論

本研究では、基礎方程式として、1次元管路計算では(1)、(2)を、2次元管路計算では(3)~(5)を用いる。

$$\frac{\partial v}{\partial t} = -g \frac{\partial h}{\partial x} - g \frac{n^2 |v| v}{R^{4/3}} \quad (1)$$

$$Q = vA \quad (2)$$



図1 亀田郷の地図

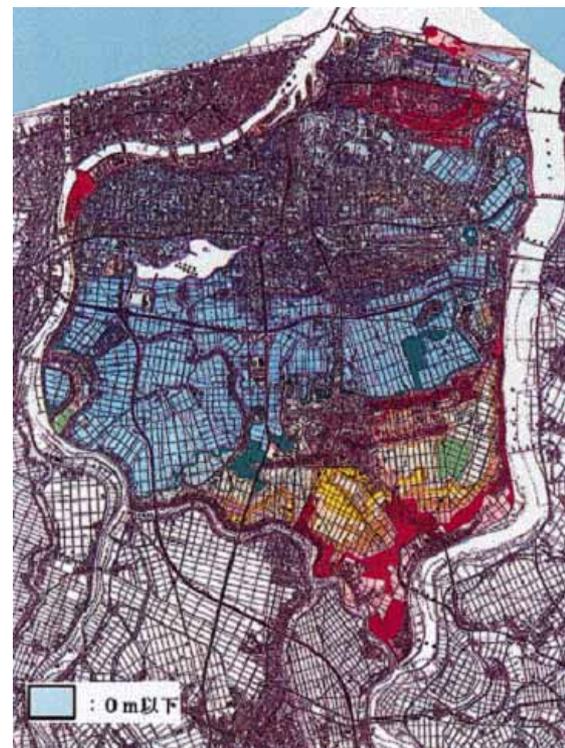


図2 亀田郷地域現況標高図

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad (3)$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{MN}{h} \right)$$

$$= -gh \frac{\partial(z+h)}{\partial x} + A_h \left(\frac{\partial^2 M}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 M}{\partial y^2} \right) - \frac{gn^2}{h^{7/3}} M \sqrt{M^2 + N^2} \quad (4)$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{MN}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{N^2}{h} \right)$$

$$= -gh \frac{\partial(z+h)}{\partial y} + A_h \left(\frac{\partial^2 N}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 N}{\partial y^2} \right) - \frac{gn^2}{h^{7/3}} N \sqrt{M^2 + N^2} \quad (5)$$

(1)は1次元管路において使用する力学波の式であり、(2)は1次元管路の連続式である。(3)は2次元氾濫計算において使用する連続式であり、(4)、(5)はそれぞれx方向、y方向における運動方程式である。

(1)～(5)において、 x 、 y 、 M 、 N 、 h 、 t 、 z 、 A_h 、 g 、 n 、 Q 、 v 、 A 、 R はそれぞれ横方向、縦方向、 x 、 y 方向の線流量、水位、時間、地盤高、水平方向の粘性係数、重力加速度マニングの粗度係数、流量、平均流速、流水断面積、径深である。

数値計算においては、(1)～(5)を陽解法および前進差分を用いて差分して数値計算を行い、水位などを求めた。

5. 対象領域

5-1 1次元管路計算

1次元管路流れを計算するために、亀田郷排水管路図をもとに地下排水管の分布図を作成した。図3に新潟市東部およびその周辺地域の下水排水管の分布を示す。図3から、排水管は新潟駅周辺地域に集中しており、亀田郷南部地域にはあまり分布していないことがわかる。

また、亀田郷南部にある開水路網はこの図に含まれていない。

新潟市からの排水は、この排水路網によって鳥屋野潟に集められ、親松排水機場から信濃川に排水される。

なお、平成10年8月水害以降、新たな排水路の設置や、鳥屋野潟排水機場の設置により、

現在の排水路網と図3は異なるものとなっている。



図3 地下排水管分布図

5-2 2次元氾濫計算

2次元氾濫計算を行うための標高データを得るために、国土地理院による50mメッシュの標高データをもとに図4に示すような亀田郷の標高データを作成した。

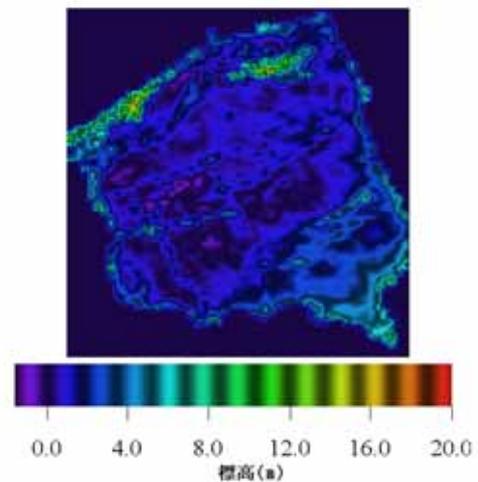


図4 亀田郷の標高

図4から、海拔0m地帯が多い亀田郷の中でも特に左中央の部分、鳥屋野潟周辺地域の標高が低いことがわかる。

6. 数値計算

6-1 1次元管路計算

図3に示す地下排水管全体を計算領域とし、(1)、(2)を差分して数値計算を行った。

図5は、図3の地下排水管の交点あるいは端点を丸で表したもので、丸どうしの間が要素である。図5には示されていないが、各要素には

内部点があり、数値計算の際はこれらの点も用いる。

要素を1つの計算単位とし、それらを結合させる形で管路全体の計算を行った。

なお、図5の流入点から水は流入するが、管路のどこからも排水はされないものとして数値計算している。



図5 地下排水管のモデル

6-2 2次元氾濫計算

図4に示す区域を計算領域とし、(3)~(5)式を差分化して数値計算を行った。

なお、領域の中から外、あるいは外から中への水の出入りはないものとして計算している。

7. 計算順序

数値計算は図6に示す順序で行った。まず、重力加速度やマンングの粗度係数などの値を入力する。次に降雨条件や流入条件などを設定する。時間発展計算では、基礎方程式の積分を行い、計算終了時間がくるまで一定時間ごとに計算結果の出力を行う。

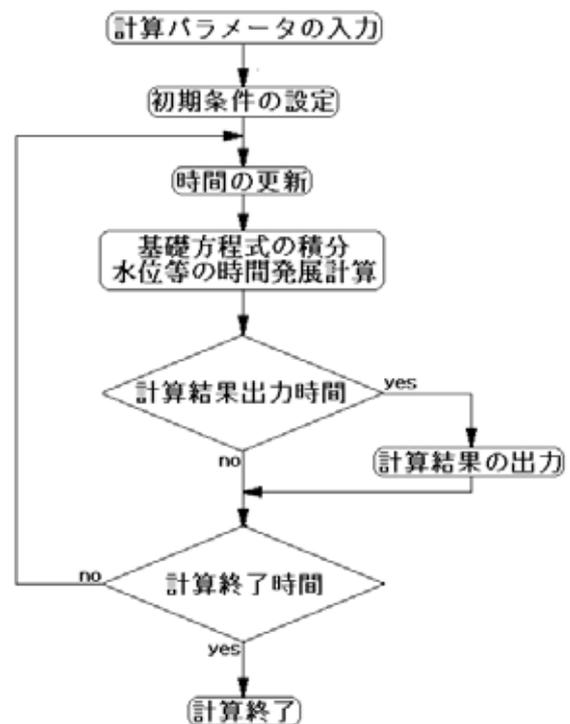


図6 計算のフローチャート

8. 計算結果

8-1-1 1次元管路計算・水位

図7および図8は、流入点の水位を5mで固定し、それ以外の点の初期水位を1mとしたときの、図5の点Aおよび点Bにおける水位の変動の様子を示している。

図7より、流入点に近い点Aでは水位が大きな値を示していること、また、反射波の影響で波形が複雑になっている。これと比較して、図8では、点Bの水位が小さな値であること、また、反射波が到達していないため波形が単純である。そして、点Bでは水位が上昇しはじめる(すなわち第一波が到達する)まで時間があることがわかる。

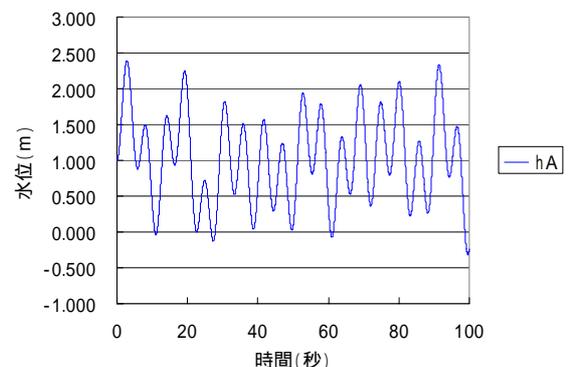


図7 点Aにおける水位変化

8-1-2 1次元計算結果・流量

図9は流入点での流量の時間変化を示しており、流入点に水が流れこむ方向を正としている。図9より、流入点に対して水が流れ込んでいることがわかる。これは、地下排水管内で逆流が

発生し、マンホールから水があふれ出る可能性があることを意味している。

8-2 2次元氾濫計算

図10、図11は、それぞれ降雨強度100mm/h、10mm/hの降雨を5時間発生させたときの亀田郷の水深を示している。図10、図11より、亀田郷において雨水が溜まりやすいところ、すなわち氾濫・浸水被害の発生しやすい地域がはっきりとわかる。特に、図10の左下部分、亀田郷南部の農業地帯で水深が大きくなっていることがわかる。

9. 結論

まず、1次元管路流れの計算では、地下の管路網における流れの理解、および管路の逆流に起因する地上の氾濫の可能性が認識できた。また、2次元氾濫計算では、降雨時に浸水の被害を受けやすい地域が認識できた。

残された課題としては、1次元管路計算と2次元氾濫流計算との結合がある。実際の氾濫では、複数の点から管路に水が流入する。また、実際には親松排水機場などからの排水も考慮しなければならない。

それらを計算することは複雑であると考えられるが、この計算モデルを完成させ、効率的な排水機場の運転法について検討したい。

10. 参考文献

- 1) 鮎川登、大矢雅彦、石崎勝義、荒井治、山本晃一、吉本俊裕：土木教程選書 河川工学、鹿島出版会。
- 2) 岩佐義朗、井上和也、水鳥雅文：氾濫水の水利の数値計算法、京都大学防災研究所年報、第23号、B-2、1980。
- 3) 水理公式集 昭和60年度版 pp.217～218、1985。
- 4) 藤智明、小川由信：leap-frog法を用いた津波の数値計算法、1982。
- 5) 亀田郷地域現況標高図：<http://www3.ocn.jp/~shinacho/shinncyaku/kamedagaiyou.htm>

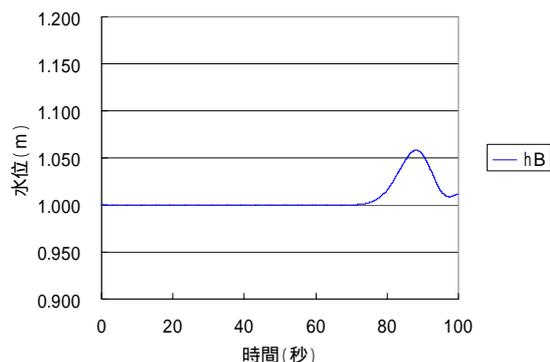


図8 点Bにおける水位変化

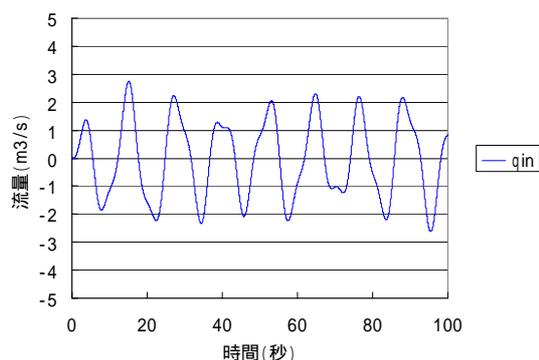


図9 流入点での流入量

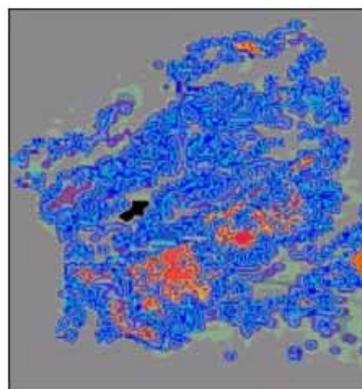


図10 亀田郷の水深 (降雨 100mm/h)

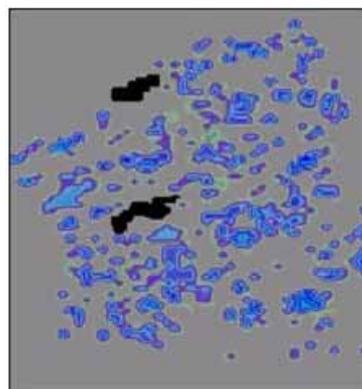


図11 亀田郷の水深 (降雨 10mm/h)